

## الوحدة 01: المتابعة الزمنية لتحول كيميائي

لمتابعة تطور التفاعل الكيميائي عند درجة حرارة ثابتة وضغط ثابت، نسجل في كل لحظة  $t$  حجم غاز البيبروجيز المنطلق، ثم نستنتج كتلة الألمنيوم المتبقية، وندون النتائج في الجدول التالي:

$t(min)$	0	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00	7.00	8.00
$m(g)$	4.05	2.84	2.27	1.94	1.78	1.70	1.64	1.62	1.62

- (1) أ/ ارسم على ورق ميليمترى منحنى تغيرات الكتلة  $m(t)$  للألمنيوم المتبقى بدلاً من الزمن باعتماد السلم:  
 $1\text{cm} \rightarrow 0.5\text{g}$   
 $1\text{cm} \rightarrow 1\text{min}$

ب/ حدد المتفاعل المهد.

(2) أ/ أنشئ جدول تقدم التفاعل الحالى.

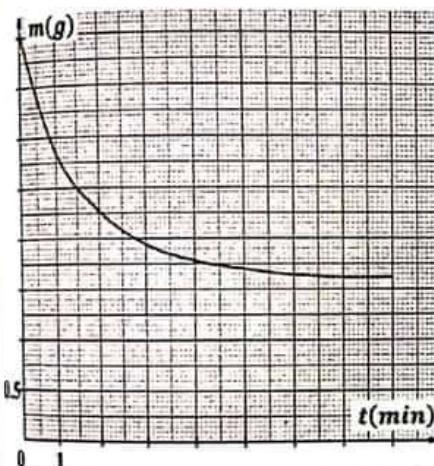
ب/ احسب كميات المادة الابتدائية  $(Al)$   $n_0$  و  $(H_3O^+)$   $n_0$  للمتفاعلات ثم استنتاج التركيز المولى  $C$  لمحلول حمض كلور الماء. تعطى الكتلة المولية للألمنيوم  $M = 27 \text{ g/mol}$

(3) بين أن كتلة الألمنيوم المتبقية في اللحظة  $t = t_{1/2}$  (زمن نصف التفاعل) تعطى بالعبارة:

$$m_{t_{1/2}} = \frac{m_0 + m_f}{2}$$

حيث  $m_f$  هي كتلة الألمنيوم المتبقية في الحالة النهائية. استنتاج ببيانا قيمة  $t_{1/2}$ .

(4) بين أن عبارة السرعة الحجمية للتفاعل تعطى بـ:  $v_{vol} = -\frac{1}{2VM} \frac{dm(t)}{dt}$ . احسب قيمتها في اللحظة  $t = 3\text{min}$ .



### تصحيح التمارين 37:

(1) أرسم المنحنى البياني

ب/ المتفاعل المهد: بما أنه يتبقى من الألمنيوم كتلة

$$m_f(Al) = 1,62 \text{ g}$$

والتفاعل تام فإن المتفاعل المهد هو  $H_3O^+$  (حمض كلور الماء).

(2) أ- جدول تقدم التفاعل:

المعادلة	$2Al_{(s)}$	$+ 6H_3O_{(aq)}^+$	$= 2Al_{(aq)}^{3+}$	$+ 3H_2_{(g)}$	$+ 6H_2O_{(l)}$
الحالة			كميات المادة (mol)		
ابتدائية	$x = 0$	$n_0$	$C.V$	0	0
انتقالية	$x$	$n_0 - 2x$	$C.V - 6x$	$2x$	$3x$
نهائية	$x_f$	$n_0 - 2x_{max}$	$C.V - 6x_{max}$	$2x_f$	$3x_f$

ب/ حساب كميات المادة الابتدائية:

$$n_0(Al) = \frac{m}{M} = 0,15 \text{ mol}$$

$$n_0(Al) - 2x_{max} = n_f(Al) \Rightarrow x_{max} = \frac{n_0(Al) - n_f(Al)}{2} = 4,5 \times 10^{-2} \text{ mol}$$

$$n_0(H_3O^+) = C.V = 6x_{max} \quad n_0(H_3O^+) = 0,27 \text{ mol}$$

$$C = \frac{n_0(H_3O^+)}{V} = 2,7 \text{ mol/L}$$

(3) لما  $\frac{x_f}{2}$  لدينا:

$$n_{t_{1/2}}(Al) = n_0(Al) - 2x_{t_{1/2}} = n_0(Al) - \frac{2x_{max}}{2} = n_0 - x_{max}$$

$$n_{t_{1/2}}(Al) = n_0(Al) - \left( \frac{n_0(Al) - n_f(Al)}{2} \right) \Rightarrow n_{t_{1/2}} = \frac{n_0(Al) + n_f(Al)}{2}$$

$$\frac{m_{t_{1/2}}}{M} = \frac{\frac{m_0}{M} + \frac{m_f}{M}}{2} \Rightarrow m_{t_{1/2}} = \frac{m_0 + m_f}{2}$$

من البيان نجد:  $t_{1/2} = 1 \text{ min}$

$$(4) \text{ إثبات عبارة السرعة الحجمية: } v_{vol} = \frac{1}{V} \frac{dx}{dt}$$

$$n(Al)_t = n_0 - 2x ; m = m_0 - 2Mx$$

$$\frac{dm}{dt} = -2M \frac{dx}{dt} \Rightarrow \frac{dx}{dt} = -\frac{1}{2M} \frac{dm}{dt} \Rightarrow v_{vol} = -\frac{1}{2VM} \cdot \frac{dm}{dt}$$

قيمة السرعة الحجمية عند اللحظة  $t = 3 \text{ min}$  هي: من البيان أو بحسابها من الجدول بين اللحظتين  $2 \text{ min}$  و  $4 \text{ min}$   
نقبل النتائج الممحورة في المجال:  $[0,042 : 0,046] \text{ mol} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{L}^{-1}$

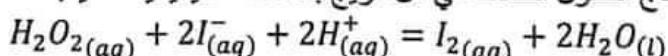
### التمرين 38:

لأجل إجراء دراسة حرارية للتحول الكيميائي التام والبطيء بين محلول يود البوتاسيوم ( $K^+ + I^-$ ) والماء الأكسجيني ( $H_2O_2$ ) لهما نفس التركيز المولى  $C = 0.1 \text{ mol/L}$  في اللحظة  $t = 0$  وعند نفس درجة الحرارة المزبجين التاليين:

المزيج الأول: 4 mL من ( $K^+ + I^-$ ) و 36 mL من ( $H_2O_2$ )

المزيج الثاني: 2 mL من ( $K^+ + I^-$ ) و 20 mL من ( $H_2O_2$ )

تضييف لكل مزيج حجم من الماء المقطر وقطرات من حمض الكبريت المركز، فيصبح حجم المزيج التفاعلي لكل منها  $60 \text{ mL} = V$ . يندرج التحول الحادث في كل مزيج بالمعادلة الكيميائية التالية:



(1) اكتب المعادلين النصفين أكسدة-إرجاع، ثم استنتج  
الثانيتين ( $Ox/Red$ ) المشاركتين في التفاعل.

(2) أ/ احسب كمية المادة الابتدائية للمتفاعلات في كل مزيج.  
ب/ أنشئ جدول تقدم التفاعل الحادث في المزيج الأول.

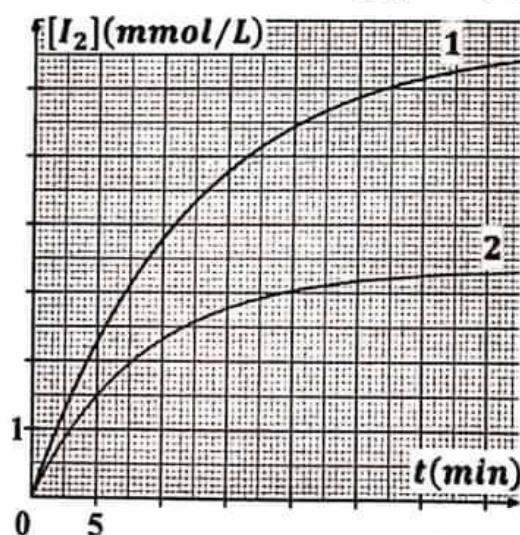
(3) البيانات (1) و (2) في الشكل يمثلان على الترتيب تطور تركيز ثاني اليود المتشكل في كل مزيج بدلالة الزمن.  
أ/ احسب تركيز ثاني اليود المتشكل في الحالة النهائية في المزيج الأول.

ب/ استنتاج من البيان (1) تركيز ثاني اليود المتشكل في الحالة اللحظة  $t = 30 \text{ min}$ .

ج/ هل يتوقف التفاعل في المزيج (1) عند  $t = 30 \text{ min}$ ؟

(4) أ/ أوجد عبارة السرعة الحجمية لتشكل ثاني اليود بدلالة التركيز  $[I_2]$ .

ب/ احسب السرعة الحجمية للتفاعل في كلا المزبجين عند اللحظة  $t = 10 \text{ min}$ .  
ماذا تستنتج؟



## تصحيح التمارين 38:



$$n(H_2O_2) = 4 \times 10^{-3} \times 0,1 = 4 \times 10^{-4} mol \quad (1) \quad \text{المزيج الأول:}$$

$$n(I^-) = 36 \times 10^{-3} \times 0,1 = 36 \times 10^{-4} mol$$

$$n(H_2O_2) = 2 \times 10^{-3} \times 0,1 = 2 \times 10^{-4} mol \quad \text{المزيج الثاني}$$

$$n(I^-) = 20 \times 10^{-3} \times 0,1 = 20 \times 10^{-4} mol$$

ب/ جدول تقدم التفاعل:

المعادلة	$H_2O_2$	+	$2I^-$	+	$2H^+$	=	$I_2$	$+ 2H_2O$
الحالة	التقدم				كميات المادة (mol)			
ابتدائية	$x = 0$		$4 \times 10^{-4}$		$36 \times 10^{-4}$	/	0	/
انتقالية	$x$		$4 \times 10^{-4} - x$		$36 \times 10^{-4} - 2x$	/	$x$	/
نهاية	$x_f$		$4 \times 10^{-4} - x_{max}$		$36 \times 10^{-4} - 2x_{max}$	/	$x_{max}$	/

$$x_{max} = 4 \times 10^{-4} = n(I_2) \quad (2)$$

$$[I_2]_n = \frac{n(I_2)}{V_s} = \frac{4 \times 10^{-4}}{60 \times 10^{-3}} = 6,7 \times 10^{-3} mol/L$$

ب/ من البيان (1) عند  $t = 30 min$ 

$$[I_2]_n = 6,2 \times 10^{-3} mol/L$$

ج/ بما أن:  $[I_2]_{t=30 min} < [I_2]_n$ إذن: التفاعل في المزيج (1) لم ينته عند  $t = 30 min$ 

$$v_{vol}(I_2) = \frac{1}{V_s} \cdot \frac{dn(I_2)}{dt} \quad / \quad (3)$$

$$v_{vol}(I_2) = \frac{d}{dt} \left( \frac{n(I_2)}{V_s} \right) = \frac{d[I_2]}{dt}$$

$$v_{vol} = \frac{1}{V_s} \cdot \frac{dx}{dt} = \frac{1}{V_s} \cdot \frac{dn(I_2)}{dt} = \frac{d[I_2]}{dt} \quad \text{ب/ المزيج الأول:} \quad (4)$$

$$v_{vol} = \frac{2,5 \times 10^{-3}}{10}$$

$$v_{vol} = 2,5 \times 10^{-4} mol \cdot L^{-1} \cdot min^{-1} \quad \text{المزيج الثاني:}$$

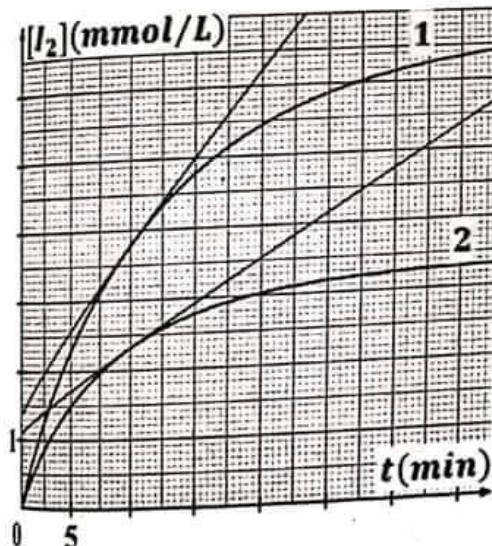
$$v_{vol} = \frac{1,5 \times 10^{-3}}{2,5 \times 5}$$

$$v_{vol} = 1,2 \times 10^{-4} mol \cdot L^{-1} \cdot min^{-1}$$

السرعة الحجمية في المزيج الأول أكبر.

التعليق: التراكيز الابتدائية في المزيج الأول أكبر.

أكبر مما في المزيج الثاني (كمية المادة أكبر والحجم متساو).



وَقَاضَ قَدْ قُضِيَ لِلنَّاسِ عَدْلًا

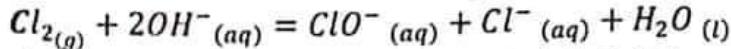
لَهُ كَفٌ وَلَا يُنْسَى لَهُ بَنَانٌ

رَأَيْتَ النَّاسَ قَدْ قَبَلُوا قَضَاهُ

وَلَا نُطْقَ لَدِيهِ وَلَا لِسَانٌ؟

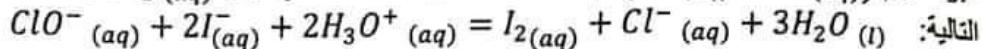
التمرين 39:

نحضر ماء جافيل من تفاعل ثاني الكلور ( $Cl_2(g)$ ) مع محلول هيدروكسيد الصوديوم ( $Na^+(aq) + OH^-(aq)$ ). التحول الكيميائي التام الحادث ينذج بتفاعل كيميائي يعبر عنه بالمعادلة التالية:

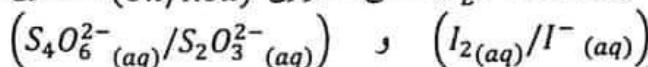


(1) ثُرُف الدرجة الكلورومترية ( ${}^{\circ}Chl$ ) بأنها توافق عدد لترات غاز ثاني الكلور في الشرطين النظاميين اللازم استعمالهما لتحضير لتر واحد من ماء جافيل. بين أن:  ${}^{\circ}Chl = C_0 \cdot V_M$  حيث  $V_M = 22.4 L \cdot mol^{-1}$  هو الحجم المولى للغاز و  $C_0$  هو التركيز المولى لماء جافيل.

(2) نأخذ عينة (A) من ماء جافيل المحفوظ عند درجة الحرارة  $20^{\circ}C$  20 تركيزه المولى بشوارد الهيبوكلوريت  $ClO^-$  هو  $C_0$ ، ونمددها 4 مرات ليصبح تركيزه المولى  $C_1$ . نأخذ منها حجما  $2mL = V_1 = V_E$  ونضيف إليها كمية كافية من يود البوتاسيوم ( $I^-(aq) + k^+(aq)$ ) في وسط حمضي، فيتشكل ثاني اليود ( $I_2(aq)$ ) وفق تفاعل تام ينذج بالمعادلة التالية:



نعيير ثاني اليود المنتشكلي في نهاية التفاعل بمحلول ثيوکبريتات ( $2Na^+_{(aq)} + S_2O_3^{2-}_{(aq)}$ ) تركيزه بالشوارد  $S_2O_3^{2-}$  هو  $C_2 = 10^{-1} mol \cdot L^{-1}$  بوجود كاشف ملون (صمغ النشا أو التيودان) فيكون الحجم ثيوکبريتات الصوديوم المضاف عند التكافؤ  $V_E = 20mL$ . تعطى الثنائيتين ( $Ox/Red$ ) الداخلتين في تفاعل المعايرة:



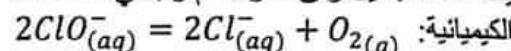
أ/ اكتب المعادلتين النصفيتين للأكسدة والإرجاع ثم معايرة تفاعل أكسدة-إرجاع المنذج لتحول المعايرة.

ب/ بين أن:

$$C_1 = \frac{C_2 \cdot V_E}{2V_1}$$

ج/ احسب  $C_1$  ثم استنتاج  $C_0$  و  ${}^{\circ}Chl$ .

(3) يتفكك ماء جافيل وفق تحول تام و بطيء، معادله



يمثل الشكل المحنبيين البيانيين للتغيرات تركيز شوارد

$ClO^-$  بدلالة الزمن الناتجين عن المتابعة الزمنية لتطور

عينتين من ماء جافيل حضرتا بنفس الدرجة الكلورومترية

للعينة (A) عند درجتي الحرارة  $20^{\circ}C$  بالنسبة للعينة (1)

و  $40^{\circ}C$  بالنسبة للعينة (2). العينتان حديثا الصنع عند

اللحظة  $t = 0$ .

أ/ استنتاج بيانيا التركيز الابتدائي للعينتين (1) و (2) بالشوارد  $ClO^-$ . هل العينة (A) السابقة حديثة الصنع؟

ب/ اكتب عباره السرعة الحجمية لاختفاء شوارد  $ClO^-$ ، ثم احسب قيمتها في اللحظة  $t = 50 \text{ days}$  بالنسبة لكل

عينة. قارن بين القيمتين، ماذا تستنتاج؟

ج/ ما هي النتيجة التي تستخلصها من هذه الدراسة لحفظ على ماء جافيل لمدة أطول؟

تصحيح التمرين 39:

$${}^{\circ}Chl = C_0 \cdot V_M$$

الطريقة 1:

$Cl_2$	+	$2OH^-$	=	$ClO^-$	$Cl^-$	$H_2O$
$n(Cl_2)$		$n$		0	0	/
$n(Cl_2) - x_{max}$		$n - 2x_{max}$		$x_{max}$	$x_{max}$	/

$${}^{\circ}Chl = V(Cl_2)$$

$$n(Cl_2) - x_{max} = 0 \rightarrow n(Cl_2) = x_{max}$$

$$n(Cl_2) = n(ClO^-)$$

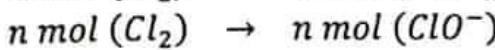
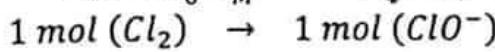
**الوحدة 01: المتتابعة الزمنية لتحول كيميائي**

شنايدر

$$\frac{V(Cl_2)}{V_M} = C_0 \cdot V \Rightarrow V(Cl_2) = C_0 \cdot V \cdot V_M$$

$$V(Cl_2) = C_0 \cdot V_M \quad : V = 1L \quad \text{لما}$$

$$^{\circ}Chl = C_0 \cdot V_M \quad \text{وبالتالي:}$$



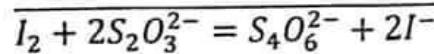
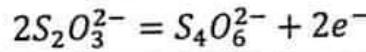
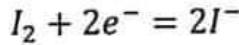
الطريقة 2:

$$\frac{V(Cl_2)}{V_M} = C_0 \cdot V \quad \text{إذن:} \quad n(Cl_2) = n(ClO^-)$$

$$V(Cl_2) = C_0 \cdot V_M \quad : V = 1L \quad \text{لما}$$

$$^{\circ}Chl = C_0 \cdot V_M \quad \text{وبالتالي:}$$

i (2)



ب/ جدول تقدم التفاعل:

المعادلة		$ClO^- + 2I^- + 2H_3O^+ = I^2 + Cl^- + 3H_2O$					
الحالة	التقدم	كميات المادة (mol)					
ابتدائية	$x = 0$	$C_1 \cdot V_1$	بوفرة	بوفرة	0	0	بوفرة
انتقالية	$x$	$C_1 \cdot V_1 - x$	بوفرة	بوفرة	$x$	$x$	بوفرة
نهاية	$x_f$	$C_1 \cdot V_1 - x_{max}$	بوفرة	بوفرة	$x_{max}$	$x_{max}$	بوفرة

لدينا:  $n(I_2)$  في نهاية التفاعل ومن تفاعل المعايرة لدينا:

$$n(I_2) = \frac{1}{2} n(S_2O_3^{2-}) \quad n(ClO^-) = \frac{1}{2} n(S_2O_3^{2-})$$

$$C_1 V_1 = \frac{1}{2} C_2 V_E \Rightarrow C_1 = \frac{C_2 V_E}{2 V_1}$$

$$C_1 = \frac{0,1 \times 20}{4} = 0,5 \text{ mol/L}$$

$$C_0 = C_1 \times F = 0,5 \times 4 = 2 \text{ mol/L}$$

$$^{\circ}Chl = 2 \times 22,4 = 44,8$$

أ/ العينتان لهما نفس التركيز المولى الابتدائي:

$$[ClO^-]_0 = 4,3 \times 0,5 = 2,15 \text{ mol/L}$$

العينة A السابقة ليست حديثة الصنع لأن:

$$C_0 < [ClO^-]_0$$

$$v_{vol}(ClO^-) = -\frac{d[ClO^-]}{dt}$$

$$v_{vol} = -\left(-\frac{2 \times 0,5}{2,9 \times 50}\right) = 7,14 \times 10^{-3} \text{ mol.L}^{-1}.J^{-1} \quad \text{العينة (1)}$$

$$v_{vol} = -\left(-\frac{1,5 \times 0,5}{50}\right) = 1,5 \times 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}.J^{-1} \quad \text{العينة (2)}$$

السرعة الحجمية لاختفاء  $ClO^-$  في العينة 2 أكبر من السرعة الحجمية لاختفاء  $ClO^-$  في العينة (1).

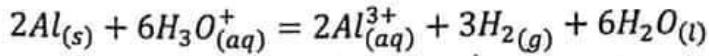
السبب: درجة الحرارة عامل حركي.

ج/ للحفظ على ماء جافل يجب وضعه في مكان بارد، أو على الأقل وضعه بعيداً عن أشعة الشمس.

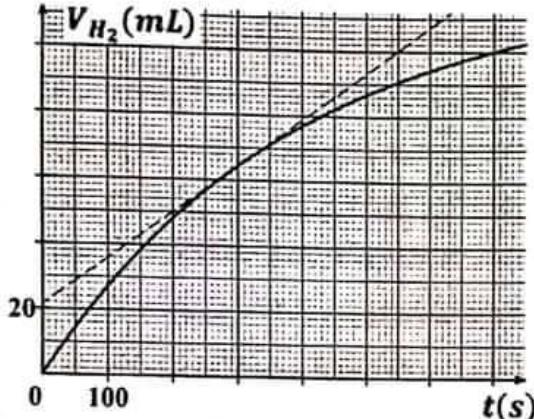
الصفحة: 90

التمرين 40:

يتفاعل محلول حمض كلور الهيدروجين  $(H_3O^+ + Cl^-)_{(aq)}$  مع الألمنيوم وفق معادلة تفاعل تام منتجًا غاز ثاني الهيدروجين وشوارد الألمنيوم  $(Al^{3+})$ . في اللحظة  $t = 0$  ندخل عينة كتلتها  $m = 0,81\text{ g}$  من حبيبات الألمنيوم في بالون (دورق) يحتوي على حجم  $V = 60\text{ mL}$  من محلول حمض كلور الهيدروجين تركيزه المولى  $C = 0,18\text{ mol} \cdot L^{-1}$ . نغلق باللون بسادة مزودة بانبوب انطلاق موصول بمقاييس غاز مدرج ومنكس في حوض مانى لجمع الغاز الناتج وقياس حجمه في لحظات مختلفة. النتائج المحصل عليها مكتننا من رسم البيان الممثل لتطور حجم الغاز المنطلق بدالة الزمن  $V_{H_2} = f(t)$  نندمج التفاعل الكيميائي الحادث بالمعادلة الكيميائية التالية:



(1) اكتب المعادلين النصفين الإلكترونيين للأكسدة والارجاع مع تحديد الثنائيين ( $Ox/Red$ ) المشاركتين في التفاعل.



(2) أنشئ جدولًا لتقدم التفاعل الكيميائي الحادث.

بـ/ جـ قيمة التقدم الأعظمي  $x_{max}$  ثم حدد المتفاعل المحدد

(3) أـجد العلاقة بين تقدم التفاعل  $x(t)$  وحجم غاز ثاني الهيدروجين الناتج  $V_{H_2}(t)$ .

بـ/ استنتاج حجم غاز ثاني الهيدروجين المنطلق عند نهاية التفاعل  $V_f(H_2)$ .

جـ/ بين أن حجم غاز ثاني الهيدروجين المنطلق في زمن نصف التفاعل  $t_{1/2}$  يعطى بالعلاقة:

$$V_{H_2}(t_{1/2}) = \frac{V_f(H_2)}{2}$$

ثم استنتاج قيمة  $t_{1/2}$ .

(4) أـ بين أن سرعة التفاعل في اللحظة  $t$  تعطى بالعلاقة:

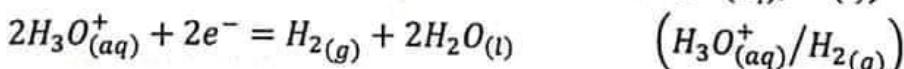
$$v = \frac{1}{3V_M} \cdot \frac{dV_{H_2}(t)}{dt}$$

بـ/ احسب قيمة هذه السرعة في اللحظة  $t = 300\text{ s}$

المعطيات:  $M(Al) = 27\text{ g} \cdot mol^{-1}$ , الحجم المولى في شروط التجربة  $V_M = 24\text{ L} \cdot mol^{-1}$

تصحيح التمرين 40:

(1) المعادلات:



(2) أـ جدول تقدم التفاعل:

المعادلة	الحالـة	التقدم	$2Al_{(s)} + 6H_3O_{(aq)}^+ = 2Al^{3+}_{(aq)} + 3H_{(g)} + 6H_2O_{(l)}$	كميات المادة (mol)		
ابتدائية	$x = 0$	0,03	$1,08 \times 10^{-2}$	0	0	
انتقالية	$x$	$0,03 - 2x$	$1,08 \times 10^{-2} - 6x$	$2x$	$3x$	
نهائية	$x_f$	$0,03 - 2x_f$	$1,08 \times 10^{-2} - 6x_f$	$2x_f$	$3x_f$	

بـ/ المتفاعل المحد هو:  $H_3O^+$   $x_{max} = 1,8 \times 10^{-3} \text{ mol}$

## الوحدة 01: المتابعة الزمنية لتحول كيميائي

$$x = \frac{V_{H_2}}{3V_M} \quad / \quad (3)$$

$$V_f(H_2) = 0,13 L \quad / \quad$$

$$V_{H_2}(t_{1/2}) = x(t_{1/2}) \cdot 3V_M = \frac{3V_M \cdot x_{max}}{2} = \frac{V_f(H_2)}{2}$$

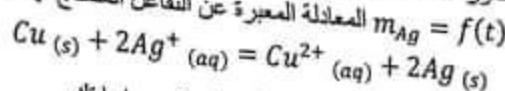
$$v = \frac{1}{3V_M} \frac{dV_{H_2}}{dt} \quad / \quad (4)$$

$$t_{1/2} \approx 300 s \quad : t_{1/2}$$

$$v = 2,0 \times 10^{-6} mol/s \quad / \quad v$$

**التمرين 41:** في حمـل دراسة حرـكيـة تحـول كـيمـيـاتـيـ تـامـ، غـرـنـاـ فيـ لـحظـةـ 0 = t صـفـحةـ منـ النـحـاسـ كـتـلـهـ g = 3,175 mـ فيـ حـمـلـ قـدرـهـ L = 200 mL مـنـ مـطـلـوـنـ نـتـرـاتـ الـفـضـةـ (Ag<sup>+</sup>)<sub>(aq)</sub> + NO<sub>3</sub><sup>-</sup><sub>(aq)</sub> تركـيزـ المـوـليـ c<sub>0</sub>. سـعـتـ لـنـاطـقـةـ تـطـورـ هـذـاـ التـحـولـ مـنـ رـسـمـ الـبـيـانـ المـمـثـلـ فـيـ الشـكـلـ الـذـيـ يـعـرـفـ عـنـ تـغـيـرـاتـ كـتـلـةـ الـفـضـةـ المـتـشـكـلـةـ بـدـلـالـةـ الزـمـنـ

المعادلة المـعـبـرـةـ عـنـ التـقـاعـلـ المـتـنـدـجـ لـهـذـاـ التـحـولـ هيـ:



1) هل التـحـولـ حـادـثـ سـريعـ أمـ بـطيـءـ؟ بـرـاجـيـكـ.

2) حـدـدـ الثـانـيـاتـ (Ox/Red) الـمـشـارـكـتـينـ فـيـ التـقـاعـلـ وـأـكـتـبـ عندـ الـمـعـاـلـقـتـينـ النـصـفـيـاتـ لـلـأـكـدـمـةـ وـالـإـرـاجـعـ.

3) أـنـشـيـ جـدـولـاـ نـقـاعـلـ وـأـحـسـبـ قـيـمةـ التـقـدمـ الأـعـظـمـيـ

$$x_{max}$$

4) اـحـسـبـ c<sub>0</sub> التركـيزـ المـوـليـ الـابـدـانـيـ لمـطـلـوـنـ نـتـرـاتـ الـفـضـةـ.

5) جـدـ التـرـكـيبـ المـوـليـ (حـصـيـلـةـ المـادـةـ) فـيـ الـحـالـةـ الـنـهـائـيـةـ.

6) عـرـفـ زـمـنـ نـصـفـ التـقـاعـلـ t<sub>1/2</sub> وـحدـدـ قـيـمـتـهـ بـيـانـيـاـ.

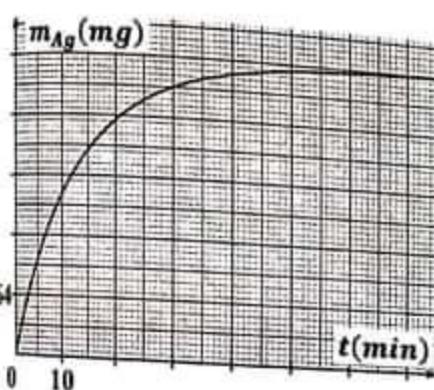
7) أـبـيـنـ أـنـ السـرـعـةـ الـلـحـظـيـةـ لـتـشـكـلـ الـفـضـةـ تـعـطـىـ بـالـعـبـارـةـ:

$$V_{Ag}(t) = \frac{1}{2 M_{Ag}} \cdot \frac{dm_{Ag}(t)}{dt}$$

حيـثـ: M<sub>Ag</sub> الـكـتـلـةـ الـمـوـلـيـةـ لـلـفـضـةـ.

بـ/ـاحـسـبـ سـرـعـةـ التـقـاعـلـ فـيـ اللـحظـةـ 0 = t.

يعـطـىـ: M(Cu) = 63,5 g/mol<sup>-1</sup>, M(Ag) = 108 g/mol<sup>-1</sup>



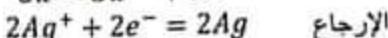
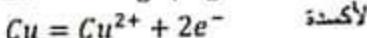
يسـتـمـرـ العـضـبـ فـقـطـ مـعـ الجـهـلـةـ

البرـتـ اـيـنـشتـاـينـ

تصحيح التمارين 41:

(1) التحول الكيميائي يعطى لأن المتتابعة الزمنية استغرقت عدة دقائق.

(2) الثنائيتين  $Cu^{2+}/Cu$  و  $Ag^+/Ag$  الداخلتين في التفاعل:



(3) جدول تقدم التفاعل:

المعادلة		$Cu + 2Ag^+ = Cu^{2+} + 2Ag$	كميات المادة (mol)		
الحالة	التقدم				
ابتدائية	$x = 0$	$n_1$	$n_2$	0	0
انتقالية	$x$	$n_1 - x$	$n_2 - 2x$	$x$	$2x$
نهائية	$x_f$	$n_1 - x_f$	$n_2 - 2x_f$	$x_f$	$2x_f$

حسب التقدم الأعظمي: لدينا من جدول تقدم التفاعل:

$$n_f(Ag) = 2x_{max} \quad \text{ومن البيان نجد: } n_f(Ag) = \frac{4,32}{108} = 0,04 \text{ mol}$$

ومنه:  $x_{max} = 0,02 \text{ mol}$  ومنه:  $n_f(Ag) = \frac{4,32}{108} = 0,04 \text{ mol}$

(4) حساب التركيز  $C_0$ : من جدول التقدم:

$$n_f(Cu) = n_0(Cu) - x_{max} = \frac{m}{M_{Cu}} - x_{max}$$

$$n_f(Cu) = 0,03 \text{ mol} \quad \text{بالتعويض نجد:}$$

ومنه:  $Cu$  ليس متفاعلاً محدداً، إذن:  $Ag^+$  متفاعلاً محدداً ومنه تصبح:  $0 = n_0(Ag) - 2x_{max}$  ومنه:  $C_0 \cdot V = 2x_{max}$  نجد:

$$C_0 = \frac{2x_{max}}{V} = \frac{2 \times 0,02}{0,2} = 0,2 \text{ mol/L}$$

(5) حصيلة المادة في الحالة النهائية:

الأفراد	$Ag^+$	$Cu$	$Ag$	$Cu^{2+}$
$n_f(\text{mol})$	0	0,03	0,04	0,02

(6) تعريف وتعيين  $t_{1/2}$ : هو الزمن اللازم ليبلغ التفاعل نصف تقدمه النهائي.

من البيان  $t_{1/2} = 10 \text{ min}$  مع توضيح الطريقة.

(7) أ/ عبارة السرعة اللحظية لتشكل الفضة:

$$v(Ag) = \frac{dn(Ag)}{dt}$$

$$\frac{dn(Ag)}{dt} = \frac{1}{M_{Ag}} \frac{dm(Ag)}{dt} \quad \text{لدينا: } n(Ag) = \frac{m(Ag)}{M_{Ag}}$$

$$v(Ag) = \frac{1}{M_{Ag}} \frac{dm(Ag)}{dt} \quad \text{وهو المطلوب.}$$

ب/ سرعة التفاعل في  $t = 0 \text{ s}$ :

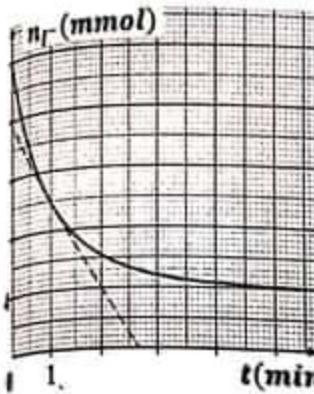
$$v(Ag) = 2 \cdot v \quad \text{لدينا: } v = \frac{dx}{dt}$$

$$\Rightarrow v = \frac{1}{2M} \frac{dm(Ag)}{dt} = \frac{1}{2 \times 108} \times \frac{3,5 \times 0,864}{10}$$

$$\Rightarrow v = 1,4 \times 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{min}^{-1}$$

التمرين 42:

نجز عد اللحظة  $t = t_1$ ، حجما  $V_1$  من محلول مانى لبروكسوبيريتات البوتاسيوم  $(2K_{(aq)}^+ + S_2O_8^{2-})_{(aq)}$  تركيز المولى  $C_1$  مع حجم  $mL = 200 = V_2$  من محلول مانى لبود البوتاسيوم  $(K_{(aq)}^+ + I_{(aq)}^-)$  تركيز المولى  $C_2$ ، نتابع تغيرات كمية مادة  $(I_{(aq)}^-)$  المتبقية في الوسط التفاعلي في لحظات زمنية مختلفة، فحصلنا على البيان:



- (1) إذا علمت أن الثنائيين الداخلين في التحول الكيميائي الحاصل هنا:  $(S_2O_8^{2-})_{(aq)} / SO_4^{2-} \text{ و } (I_{(aq)}^-) / I_2(aq)$ .  
أ/ اكتب معادلة أكسدة-إرجاع المنتجة للتفاعل الكيميائي الحاصل.  
ب/ انجز جدول تقدم التفاعل.

(2) اعتمادا على البيان:

- أ/ استنتج التركيز المولى  $C_2$  لمحلول بود البوتاسيوم.

ب/ حدد المتفاعل المهد علما أن التفاعل ثام.

ج/ استنتاج قيمة التقدم الأعظمي  $x_{max}$ .

(3) أ/ استنتاج بيانيا قيمة سرعة اختفاء شوارد اليود  $(I_{(aq)}^-)$

عند اللحظة  $t = 1 \text{ min}$ .

- ب/ أوجد قيمة الحجم الكلى  $V_T$  للوسط التفاعلي علما أن قيمة السرعة  $v_{vol} = 9,1 \times 10^{-3} \text{ mol} \cdot L^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ .

ج/ استنتاج قيمة الحجم  $V_1$  لمحلول ببروكسوبيريتات البوتاسيوم وتركيز المولى  $C_1$ .

(4) أ/ عرف زمن نصف التفاعل  $t_{1/2}$ .  
ب/ بين أن كمية مادة شوارد اليود  $(I_{(aq)}^-)$  عند اللحظة  $t_{1/2}$  تعطى بالعلاقة

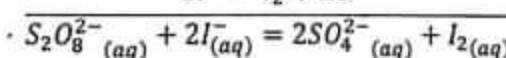
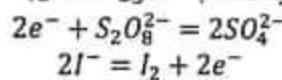
$$n_{I^-}(t_{1/2}) = \frac{n_0(I^-) + n_f(I^-)}{2}$$

حيث  $(I^-)_0$  هي كمية مادة شوارد اليود الابتدائية في الوسط التفاعلي،  $(I^-)_f$  هي كمية مادة شوارد اليود في الوسط التفاعلي عند نهاية التفاعل.

ج/ استنتاج قيمة  $t_{1/2}$  بيانيا.

تصحيح التمرين 42:

(1) أ/ كتابة معادلة تفاعل الأكسدة الإرجاعية المنتجة لتحول الحاصل:



ب/ جدول تقدم التفاعل:

المعادلة	$S_2O_8^{2-}_{(aq)} + 2I^-_{(aq)} = 2SO_4^{2-}_{(aq)} + I_2(aq)$ كميات المادة (mol)				
الحالة	التقدم	$C_1 \cdot V_1$	$C_2 \cdot V_2$	0	0
ابتدائية	$x = 0$	$C_1 \cdot V_1$	$C_2 \cdot V_2$	0	0
انتقالية	$x$	$C_1 \cdot V_1 - x$	$C_2 \cdot V_2 - 2x$	$2x$	$x$
نهائية	$x_f$	$C_1 \cdot V_1 - x_f$	$C_2 \cdot V_2 - 2x_f$	$2x_f$	$x_f$

(2) اعتمادا على البيان:

$$n_0(I^-) = 20 \times 10^{-3} \text{ mol} \quad \text{ومن البيان:} \quad n_0(I^-) = C_2 \cdot V_2 \quad : t = 0$$

$$C_2 = 0,1 \text{ mol/l} \quad \Rightarrow \quad C_2 = \frac{20 \times 10^{-3}}{V_2} = \frac{20 \times 10^{-3}}{0,2}$$

## الوحدة 01: المتابعة الزمنية لتحول كيميائي

شنايدر

بـ من البيان:  $n_f(I^-) \neq 0$  منه المتفاعل المعد هو: ( $S_2O_8^{2-}$ )

$$x_{max} = \frac{C_2 \cdot V_2 - n_f(I^-)}{2} \Leftarrow C_2 \cdot V_2 - 2x_{max} = n_f(I^-)$$

جـ عليه ( $I^-$ ) منه  $x_{max} = 8 \text{ mmol}$

(3) / استنتاج سرعة اختفاء شوارد اليود ( $I^-$ ) عند  $t = 1 \text{ min}$

$$v(I^-) = \frac{-dn(I^-)}{dt} \Rightarrow v(I^-) = \frac{-(16 - 0) \times 10^{-3}}{0 - 2,4} = 6,66 \times 10^{-3} \text{ mol/min}$$

بـ إيجاد الحجم الكلي:  $V_T$

$$v_{vol} = \frac{1}{2} \cdot \frac{v(I^-)}{V_T} \quad \text{منه} \quad v_{vol} = \frac{v_{vol}(I^-)}{2} \quad \text{نعلم أن:}$$

$$V_T = \frac{v(I^-)}{2 \times v_{vol}} \simeq 365 \text{ mL} \Rightarrow V_T = 0,365 \text{ L} \quad t = 1 \text{ min}$$

$$V_1 = V_T - V_2 = 165 \text{ ml} \quad \text{جـ / استنتاج الحجم: } V_1 \\ \text{استنتاج: } C_1$$

$$x_{max} = C_1 \cdot V_1 \Rightarrow C_1 = \frac{x_{max}}{V_1} \Rightarrow C_1 = 0,048 \text{ mol/l}$$

(4) / تعريف زمن نصف التفاعل:  $t_{1/2}$ : هو الزمن اللازم لبلوغ التفاعل نصف تقدمه النهائي  $x_f$  حيث

$$x(t_{1/2}) = \frac{x_f}{2}$$

بـ بيان العلاقة: عند  $t_f$   $n_f(I^-) = n_0(I^-) - 2x_f$   $t = t_f$

$$n_{t_{1/2}}(I^-) = n_0(I^-) - 2x_{t_{1/2}} \quad t = t_{1/2}$$

$$\text{وعليه: } n_{t_{1/2}} = n_0(I^-) - 2 \cdot \frac{x_f}{2} \Rightarrow n_{t_{1/2}} = n_0(I^-) - x_f \quad \text{إذن: } n_f(I^-) = n_0(I^-) - n_{t_{1/2}}$$

$$\text{نجد: } n_f(I^-) = n_0(I^-) - 2(n_0(I^-) - n_{t_{1/2}}(I^-)) = -n_0(I^-) + 2n_{t_{1/2}}(I^-)$$

$$\text{منه: } n_{t_{1/2}}(I^-) = \frac{n_0(I^-) + n_f(I^-)}{2} \quad \text{إذن: } n_f(I^-) + n_0(I^-) = 2n_{t_{1/2}}$$

$$\text{جـ / استنتاج: } t_{1/2} \quad \text{عند: } t = t_{1/2} \quad n_{t_{1/2}}(I^-) = \frac{20+4}{2} = 12 \text{ mmol}$$

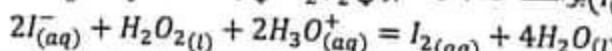
### التمرين 43:

نعتبر التفاعل الكيميائي المندرج بالمعادلة الكيميائية التالية:

(1) أثبت أن سرعة اختفاء النوع الكيميائي  $A$  يعبر عنها بدلالة سرعة تشكيل النوع الكيميائي  $C$  كما يلى:

$$\frac{V(A)}{\alpha} = \frac{V(C)}{\gamma}$$

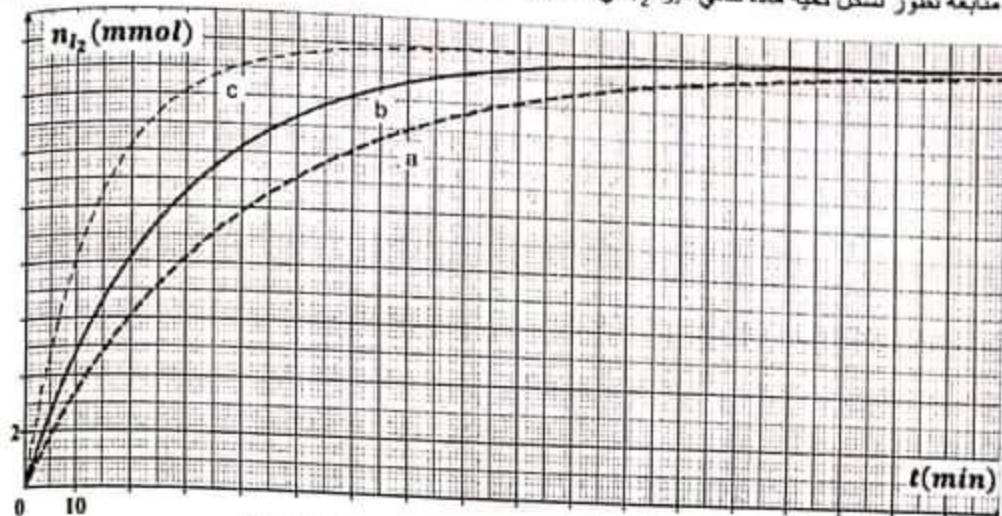
(2) تتأكد شوارد اليود ( $I^-_{(aq)}$ ) بواسطة الماء الأكسجيني  $H_2O_2$  في وسط حمضي  $H_3O^+$  وفق التفاعل ذي المعادلة:



تحقق ثلاثة تجارب في أحجام متساوية حسب شروط كل تجربة كما يوضح الجدول التالي:

رقم التجربة	كمية المادة الابتدائية من $H_2O_2 \text{ (mmol)}$	كمية المادة الابتدائية من $I^- \text{ (mmol)}$	كمية المادة الابتدائية من $H_3O^+$	درجة حرارة الوسط التفاعلي
3	$n_0$	$n_0$	$H_3O^+$	
	$n_0$	$n_0$	$H_2O_2 \text{ (mmol)}$	
80	80	40	$I^- \text{ (mmol)}$	
	يزيد	يزيد		
			$H_3O^+$	
20°C	40°C	20°C		

بعد متابعة تطور تشكل كمية مادة ثانوي الйود  $I_2$  في التجارب الثلاثة تحصلنا على المحننات التالية: (a), (b), (c).



أ/ هل شوارد  $H_3O^+$  تلعب دور وسيط أم متفاعل في التجارب الثلاثة؟ علّ.

ب/ أنساب رقم التجربة 1, 2, 3 لكل محننة مع التعطيل.

ج/ انطلاقاً من البيان: عين السرعة المتوسطة لتشكل ثانوي الйود  $I_2$  بين اللحظتين  $t_1 = 20 \text{ min}$  و  $t_2 = 60 \text{ min}$ .

إذا كانت سرعة اختفاء ( $I_{(aq)}^-$ ) هي  $v_{(H_2O)} = 0,4 \text{ mmol/min}$ , احسب سرعة تشكيل  $O$  التي تعتبرها  $v_{(H_2O)}$ :

تصحيح التمارين 43:

$$\text{إثبات: } \frac{v_A}{\alpha} = \frac{v_C}{\gamma}$$

المعادلة		$\alpha A + \beta B = \gamma C + \lambda D$ كميات المادة (mol)			
الحالة	التقدير	$n_1$	$n_2$	0	0
ابتداً	$x = 0$				
انتقالية	$x$	$n_1 - \alpha x$	$n_2 - \beta x$	$\gamma x$	$\lambda x$
نهائية	$x_f$	$n_1 - \alpha x_f$	$n_2 - \beta x_f$	$\gamma x_f$	$\lambda x_f$

لدينا:  $v_A = -\frac{dn_A}{dt}$  ، من جدول تقدم التفاعل:

$$v_A = -\frac{d(n_1 - \alpha x)}{dt} \Rightarrow v_A = -(-\alpha) \frac{dx}{dt} \Rightarrow \frac{dx}{dt} = \frac{v_A}{\alpha}$$

و لدينا:  $v_C = \frac{dn_C}{dt}$  ، من جدول تقدم التفاعل:

$$v_C = \frac{d(\gamma x)}{dt} \Rightarrow v_C = (\gamma) \frac{dx}{dt} \Rightarrow \frac{dx}{dt} = \frac{v_C}{\gamma}$$

ومنه بما أن:  $\frac{v_C}{\gamma} = \frac{v_A}{\alpha}$  فإن:  $\frac{v_C}{\gamma} = \frac{dx}{dt}$  و  $\frac{dx}{dt} = \frac{v_A}{\alpha}$

أ/ الشوارد ( $H_3O^+$ ) تلعب دور متفاعل في التجارب الثلاثة لأن الشوارد شاركت في التفاعل من حيث التوازن الذري والشحنى.

ب/ تجربة 01 ← البيان a : درجة حرارة قليلة وكمية المادة صغيرة بالمقارنة بالتجربتين.

تجربة 02 ← البيان c : درجة حرارة مرتفعة وكمية المادة أيضاً مرتفعة بالنسبة للتجربتين.

تجربة 03 ← البيان b : درجة حرارة قليلة وكمية مادة مرتفعة بالنسبة للتجربة 01

ج/ السرعة المتوسطة لتشكل ثانوي اليود  $I_2$  بين اللحظتين  $t_1 = 20 \text{ min}$  و  $t_2 = 60 \text{ min}$  بالنسبة للتجربة (b)

$$v_m = \frac{\Delta(n_{I_2})}{\Delta t} = \frac{14 - 8}{60 - 20} = 0,15 \text{ mmol/min}$$

$$\frac{v_{H_2O}}{4} = \frac{v_{I_2}}{2}$$

$$\Rightarrow v_{H_2O} = \frac{4v_{I_2}}{2} = 2v_{I_2} = 2 \times 0,4 = 0,8 \text{ mmol/min}$$

#### التمرين 44:

إن التفاعل بين محلول ببروكنتو ثانوي كبريتات البوتاسيوم ( $K^+; I^-$ ) و محلول يود البوتاسيوم ( $K^+; S_2O_8^{2-}$ ) هو تفاعل تمام وبطيء. تنمذج التفاعل بالمعادلة الكيميائية التالية:  $S_2O_8^{2-} + 2I^-_{(aq)} = I_2_{(aq)} + 2SO_4^{2-}$ . كنف الاستاذ ثلاثة أفراد من التلاميذ لإجراء ثلاثة تجارب ملخصة في الجدول (1):

$V_2 = 100 \text{ ml}$	$V_1 = 100 \text{ ml}$	درجة الحرارة	
$[I^-] (\text{mol/l})$	$[S_2O_8^{2-}] (\text{mol/l})$		
0,04	0,02	$20^\circ\text{C}$	A المزيج
0,02	0,01	$20^\circ\text{C}$	B المزيج
0,04	0,02	$35^\circ\text{C}$	C المزيج

الجدول (1)

قم كل فوج نتائج تجربته وكانت كالتالي في الجدول (2):

0,008	0,006	0,004	0,002	$[I_2] (\text{mol/l})$
20,0	13,3	7,5	3,3	الفوج الأول ( $t(\text{min})$ )
60,0	36,7	21,7	8,3	الفوج الثاني ( $t(\text{min})$ )
390	230	110	35	الفوج الثالث ( $t(\text{min})$ )

الجدول (2)

1) ارفق كل تجربة بالفوج الذي قام بها اعتماداً على عوامل حركة يطلب ذكرها.

2) احسب التقدم الكيميائي في المزيج C في اللحظة التي يكون فيها  $10^{-3} \text{ mol/l} = [I_2]$ , هل انتهى التفاعل في هذه اللحظة؟

3) أراد تلميذ أن يتأكد من قيمة تركيز ثانوي اليود في المزيج الخاص بالفوج الأول عند اللحظة  $t = 20 \text{ min}$ , أخذ من هذا المزيج حجماً قدره  $10 \text{ ml} = V$  وأضاف له  $100 \text{ ml}$  من الماء المثلث، ثم عاير محلول ثانوي اليود بواسطة محلول ثيوكبريتات الصوديوم ( $2Na^+; S_2O_3^{2-}$ ) تركيزه المولي  $C_3 = 0,01 \text{ mol/L}$  فكان

$$\text{حجم اللازم للتكافؤ } V_E = 16 \text{ ml}$$

أ/ ما هو الغرض من إضافة الماء المثلث؟ كيف نسمى هذه العملية؟

ب/ اكتب معادلة المعايرة، ثم أوجد العلاقة بين التركيز المولي لثانوي اليود  $[I_2]$  و  $C$  و  $V$  و  $V_E$ ، ثم احسب قيمة  $[I_2]$ .

ج/ هل تتوافق النتيجة مع نتيجة الفوج الأول؟

تعطى الثانية:  $(S_4O_6^{2-}/S_2O_3^{2-})$

#### تصحيح التمرين 44:

1) الفوج الأول  $\leftarrow$  المزيج C (على درجة حرارة أكبر تركيز).

الفوج الثاني  $\leftarrow$  المزيج A (أكبر تركيز).

الفوج الثالث  $\leftarrow$  المزيج B (على درجة حرارة أكبر تركيز).

العاملان الحركيان: درجة الحرارة ( $T$ )  $\leftarrow$   $\uparrow$

- التركيز الابتدائي للمتفاعلات ( $C$ )  $\leftarrow$   $\downarrow$

## الوحدة 01: المتابعة الزمنية لتحول كيميائي

شنبت

$$x_f = n_{(I_2)f} = [I_2](V_1 + V_2) = 1,6 \times 10^{-3} \text{ mol}$$

$$\frac{[S_2O_3^{2-}].V_1}{1} = \frac{[I^-].V_2}{2} = 2 \times 10^{-3}$$

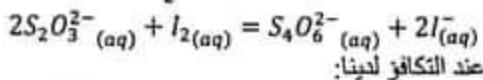
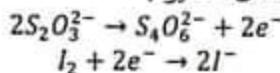
لدينا :

المزيج متوكبومترى و  $x_{max} = 2 \times 10^{-3} \text{ mol}$   
نلاحظ أن:  $x_f < x_{max}$  ومنه: التفاعل لم ينته في هذه اللحظة.

(3) أ/ الغرض من إضافة الماء المتبقي: إيقاف التفاعل.

نسمى العملية: "عملية التثبيت" ثم المعايرة

ب/ معادلة تفاعل المعايرة:



$$\frac{n_0(S_2O_3^{2-})}{2} = \frac{n_0(I_2)}{1}$$

$$[I_2] = \frac{C_3 V_E}{2V} \quad \text{منه} \quad \frac{C_3 V_E}{2} = [I_2].V$$

$$[I_2] = \frac{0,01 \times 16}{2 \times 10} = 8 \times 10^{-3} \text{ mol/L}$$

ومنه النتيجة تتوافق مع نتيجة الفوج الأول.

### التمرين 45:

محلول لحمض كلور البيدروجين تركيزه  $C_1 = 4 \text{ mol. L}^{-1}$   $V_1 = 10 \text{ ml}$  ونضيف إليه حجما  $V_2 = 40 \text{ ml}$  من ثيوکبريتات الصوديوم ( $2Na^+ + S_2O_3^{2-}$ ) تركيزه  $C_2 = 0,5 \text{ mol. L}^{-1}$ . فيحدث التحول المنذج بالتفاعل ذي المعادلة:  $S_2O_3^{2-}_{(aq)} + 2H^+_{(aq)} \rightleftharpoons S_{(s)} + SO_2_{(aq)} + H_2O_{(l)}$ . سمعت عملية المتابعة الزمنية لتحول من معرفة تركيز شوارد ثيوکبريتات المتبقية كما مبينة في الجدول:

$t(s)$	0	15	30	45	60	90	120	180	240	300	360
$[S_2O_3^{2-}]_{(aq)} \text{ (mol. L}^{-1}\text{)}$	0,4	0,33	0,26	0,2	0,16	0,11	0,07	0,03	0,02	0,01	0
$x(\text{mmol})$											

(1) كيف تصنف هذا التحول من حيث مدة استقراره؟

(2) ما نوع التحول؟ استنتاج الثنائيات الداخلة في التحول.

(3) بعد الإضافة مباشرة احسب تركيزا شوارد  $H^+$  و  $S_2O_3^{2-}$  الابتدائين.

(4) أنشئ جدول لتقدم التفاعل.

(5) جد عبارة التقدم  $x$  بدلالة  $[S_2O_3^{2-}]_{(aq)}$  و  $[S_2O_3^{2-}]_{(aq)}$  حجم المزيج الابتدائي  $V$ .

(6) أكمل الخاتمة الأخيرة من الجدول ثم ارسم البيان ( $x = f(t)$ ).

(7) استنتاج سرعة اختفاء شوارد  $S_2O_3^{2-}$  بدلالة سرعة التفاعل. ثم احسبها عند  $t = 0$ .

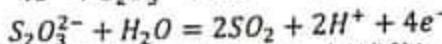
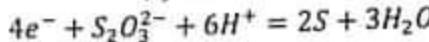
(8) علما أن التحول تام، أوجد:

أ/ المتفاعل المهد.

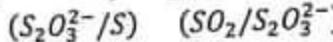
ب/ زمن نصف التفاعل  $t_{1/2}$ .

تصحيح التمرين 45:(1) التحول بطيء، لأنه استغرق  $360\text{ s} = 6\text{ min}$ 

(2) التحول أكستدة-إرجاع لوجود إلكتروني وفق المعادلات النصفية:



بالجمع طرف لطرف والاختزال نجد معادلة التفاعل منه فإن الشانيات الداخلة في التفاعل:



$$[H^+]_i = \frac{C_1 \cdot V_1}{V_1 + V_2} = 0,8 \text{ mol/L} [S_2O_3^{2-}] = \frac{C_2 \cdot V_2}{V_1 + V_2} = 0,4 \text{ mol/L} \quad (3)$$

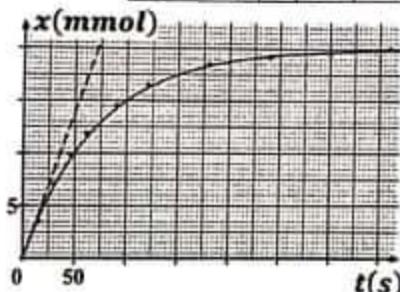
(4) جدول تقدم التفاعل:

المعادلة		$S_2O_3^{2-} + 2H^+ = S + SO_2 + H_2O$	كميات المادة (mol)			
الحالة	التقدم					
ابتدائية	$x = 0$	$C_2 \cdot V_2$	$C_1 \cdot V_1$	0	0	بوفرة
انتقالية	$x$	$C_2 \cdot V_2 - x$	$C_1 \cdot V_1 - 2x$	$x$	$x$	بوفرة
نهائية	$x_f$	$C_2 \cdot V_2 - x_f$	$C_1 \cdot V_1 - 2x_f$	$x_f$	$x_f$	بوفرة

(5) لدينا:  $x = V([S_2O_3^{2-}]_0 - [S_2O_3^{2-}]) = n_0(S_2O_3^{2-})$  منه:

(6) إكمال الجدول ورسم البيان:

$t(s)$	0	15	30	45	60	90	120	180	240	300	360
$x(mmol)$	0	3,5	7	10	12	14,5	16,5	18,5	19	19,5	20

(7) لدينا:  $v = \frac{dx}{dt}$  منه:  $v_{S_2O_3^{2-}} = v$  $v_{S_2O_3^{2-}}(O) = 0,27 \text{ mmol/s}$  ميل المعاكس(8) أ/ إذا كان  $H^+$  محد فلن  $C_1 \cdot V_1 - 2x_{max} = 0$  معناه:

$$x_{max} = 0,02 \text{ mol}$$

إذا كان  $S_2O_3^{2-}$  محد فلن  $C_2 \cdot V_2 - x_{max} = 0$  معناه:

$$x_{max} = 0,02 \text{ mol}$$

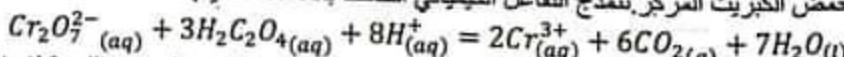
إذن العزيج ستوكيموري (لا يوجد متفاعل محدد).

ب/  $t_{1/2}$  هو الزمن اللازم للبلوغ التفاعل نصف تقدمه النهائي منه:

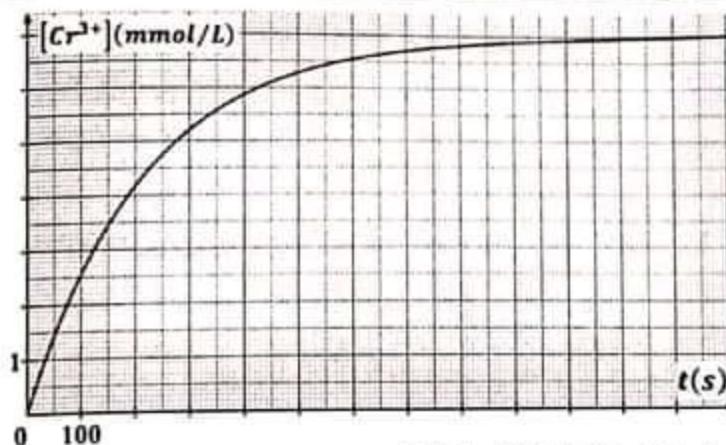
$$x = \frac{x_{max}}{2} = 0,01 \text{ mol}$$

إذن بالإسقاط على المنحنى ثم على محور الأزمنة نجد:  $t_{1/2} = 45 \text{ s}$ التمرين 46:

دراسة تطور تفاعل حمض الأوكساليك ( $H_2C_2O_4$ ) مع شوارد البيكرومات ( $Cr_2O_7^{2-}$ ) نحضر مزيجا يتكون من  $V_1 = 50 \text{ mL}$  من محلول حمض الأوكساليك تركيزه المولى الحجمي  $C_1 = 2,1 \times 10^{-2} \text{ mol/L}$  و  $V_2 = 50 \text{ mL}$  من محلول بيكرومات البوتاسيوم تركيزه المولى الحجمي  $C_2 = 1,0 \times 10^{-2} \text{ mol/L}$  والمحمض بحمض الكبريت المركب. نندرج التفاعل الكيميائي الحادث بالمعادلة التالية:



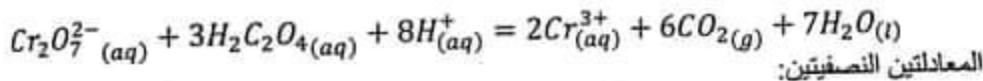
ثبت درجة حرارة التفاعل عند القيمة  $15^\circ C = \theta$  وتنتابع تطور التفاعل، عن طريق المعايرة اللورنية لشوارد  $Cr^{3+}$  المتخللة لتحصل على المنحنى الممثل لتغيرات  $[Cr^{3+}]$  بدالة الزمن المبين في الشكل الموجي.



- (1) حدد الثنائيتين (*Ox/Red*) الدالة في التفاعل.
- (2) أنشئ جدولًا لتقدم التفاعل واستنتج التقدم الأعظمي والمتفاعل المحد لهذا التفاعل الكيميائي (شوارد  $\text{Cr}^{3+}$  موجودة بزيادة).
- (3) عرف السرعة الحجمية للتفاعل وعبر عنها بدلالة  $[Cr^{3+}]$
- (4) أوجد السرعة الحجمية للتفاعل عند اللحظة  $t = 100 \text{ s}$ .
- (5) كيف تتطور السرعة الحجمية للتفاعل مع تطور الزمن؟ علّل.
- (6) احسب تركيز المزيج النهائي بشوارد  $\text{Cr}^{3+}$ .
- (7) أوجد زمن نصف التفاعل  $t_{1/2}$ .

#### تصحيح التمرين 46:

(1) المعادلة المعتبرة عن التفاعل:



$$\begin{cases} \text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} \text{(aq)} + 14\text{H}^+ + 6e^- = 2\text{Cr}^{3+} \text{(aq)} + 7\text{H}_2\text{O} \text{(l)} \\ (\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \text{(aq)}) = 2\text{CO}_2 \text{(g)} + 2\text{H}^+ \text{(aq)} + 2e^- \times 3 \\ (\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} / \text{Cr}^{3+}) \\ (\text{CO}_2 / \text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4) \end{cases}$$

الثانيات الدالة هي:

(2) جدول تقدم التفاعل:

المعادلة	$\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} \text{(aq)} + 3\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \text{(aq)} + 8\text{H}^+ \text{(aq)} = 2\text{Cr}^{3+} \text{(aq)} + 6\text{CO}_2 \text{(g)} + 7\text{H}_2\text{O} \text{(l)}$					
الحالة	التقدم	كميات المادة (mol)				
ابتدائية	$x = 0$	$n_2$	$n_1$	بوفرة	0	0
انتقالية	$x$	$n_2 - x$	$n_1 - 3x$	بوفرة	$2x$	$6x$
نهائية	$x_f$	$n_2 - x_f$	$n_1 - 3x_f$	بوفرة	$2x_f$	$6x_f$

إيجاد التقدم النهائي والمتفاعل المحد:  $n_1 - 3x_{max} = 0 \rightarrow x_{max} = \frac{C_1 \cdot V_1}{3} = 3,5 \times 10^{-4} \text{ mol}$

مروفوض  $n_2 - x_{max} = 0 \rightarrow x_{max} = C_2 \cdot V_2 = 5 \times 10^{-4} \text{ mol}$

$x_{max} = 3,5 \times 10^{-4} \text{ mol}$  هو التقدم الأعظمي، ومنه: حمض الأكساليك هو المتفاعل المحد.

(3) تعريف السرعة الحجمية: هي مقدار تقدم التفاعل خلال مدة زمنية في وحدة الحجم

$$v_{vol} = \frac{1}{V} \times \frac{dx}{dt} = \frac{dC}{dt}$$

الصفحة: 100

## الوحدة 01: المتابعة الزمنية لتحول كيميائي

شنايد

من جدول تقدم التفاعل:  $v_{vol} = \frac{dC}{dt} = \frac{d[Cr^{3+}]}{dt} \times \frac{2x}{V_r}$ , وبما أن  $V_r = \frac{1}{2}$  ثابت، فإن:  $t = \frac{d[Cr^{3+}]}{2 \times 10^{-3}}$  هو ميل المعلم عند اللحظة  $t = 100s$  منه:

$$v_{vol} = \frac{(2,6 - 0,6) \times 10^{-3}}{(100 - 0) \times 2} = 1 \times 10^{-5} \text{ mol/L.s}$$

السرعة تتراقص تدريجياً إلى أن تتعدم لأن: كمية مادة المتفاعلات تتضمن وبالتالي تتلاشي التصانيم الفعالة ومنه تتلاشى السرعة.

(5) حسب تركيز المزيج النهائي بшوارد  $Cr^{3+}$ :  $Cr^{3+} + 2H^+ \rightarrow Cr^{2+} + H_2O$

$$[Cr^{3+}]_f = \frac{7 \times 10^{-4}}{100 \times 10^{-3}} = 7 \times 10^{-3} \text{ mol/L}$$

إيجاد زمن نصف التفاعل  $t_{1/2}$  عند  $t = t_{1/2}$  تكون  $x(t_{1/2}) = \frac{x_{max}}{2}$ :

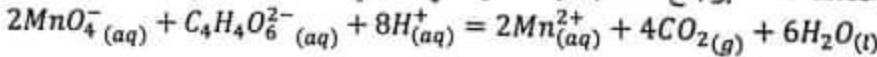
$$n_1(Cr^{3+}) = 2x(t_{1/2}) = 2 \cdot \frac{x_{max}}{2} = 3,5 \times 10^{-4} \text{ mol}$$

$$[Cr^{3+}]_{t_{1/2}} = \frac{3,5 \times 10^{-4}}{10^{-1}} = 3,5 \times 10^{-3} \text{ mol/L}$$

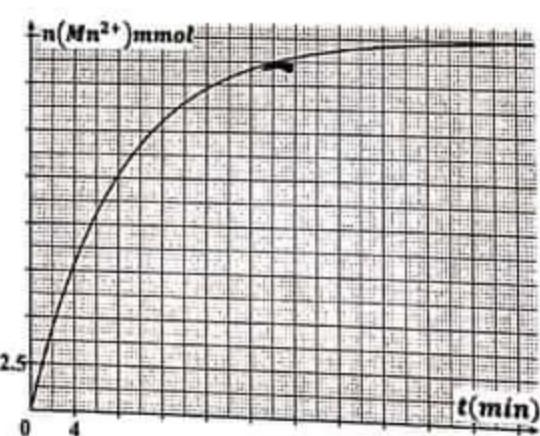
يلقاط هذه القيمة على البيان نجد:  $t_{1/2} = 150s$ .

## ال詢ين 47:

لدراسة تطور حركة التحول بين شوارد البرمنغمات ( $MnO_4^-$ ) ومحلوبي يحتوي على شوارد الطرطرات ( $C_4H_4O_6^{2-}$ ) نضع في بيسير حجماً  $V_1 = 500 mL$  من محلول برمغمات البوتاسيوم ( $K^+ + MnO_4^-$ ) تركيزه  $C_1 = 0,1 \text{ mol.L}^{-1}$  في اللحظة  $t = 0$  نضيف له حجماً  $V_2 = 500 mL$  من محلول يحتوي على شوارد الطرطرات تركيزه المولي  $C_2$ . تعطى:  $(MnO_4^-)/Mn^{2+}$  و  $(CO_2(g)/C_4H_4O_6^{2-})$  (1) أ/ بين أن المعادلة أكسدة-إرجاع المنفذة لهذا التحول هي كما يلي:



ب/ أنجز جدول تقدم التفاعل.  
(2) يمثل الشكل المنحنى البياني الممثل لتطور كمية مادة شوارد المونغيم  $n_{Mn^{2+}} = f(t)$  بدلالة الزمن  $t$ .

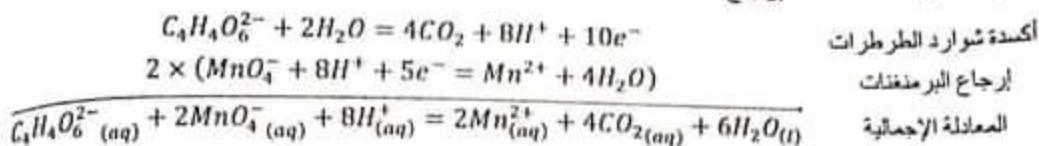


أ/ السرعة الحجمية لتشكيل شوارد المونغيم عند اللحظة  $t = 12 \text{ min}$  ثم استنتج السرعة الحجمية للتفاعل عند ذلك.

ب/ التقدم النهائي للتفاعل  $x_f$ .  
ج/ زمن نصف التفاعل  $t_{1/2}$ .  
(3) أ/ باعتبار التحول تماماً عن المتفاعل المحدد.  
ب/ عين التركيز المولي لشوارد الطرطرات  $C_2$ .

تصحيح التمارين 47:

(1) أ/ كتابة معادلة أكسدة إرجاع.



ب/ جدول تقدم التفاعل:

المعادلة		$C_4H_4O_6^{2-} \text{ (aq)} + 2MnO_4^- \text{ (aq)} + BH^+ \text{ (aq)} = 2Mn^{2+} \text{ (aq)} + 4CO_2 \text{ (aq)} + 6H_2O \text{ (l)}$				
الحالة	التقدم	كميات المادة (mol)				
ابتدائية	$x = 0$	$C_2 \cdot V_2$	$C_1 \cdot V_1$	بوفرة	0	0
انتقالية	$x$	$C_2 \cdot V_2 - x$	$C_1 \cdot V_1 - 2x$	بوفرة	$2x$	$4x$
نهائية	$x_f$	$C_2 \cdot V_2 - x_f$	$C_1 \cdot V_1 - 2x_f$	بوفرة	$2x_f$	$4x_f$

(2) حساب السرعة الحجمية لتشكل شوارد المغنزيوم لما :

$$v_{vol(Mn^{2+})} = \frac{1}{V_T} \times \frac{dn_{(Mn^{2+})}}{dt} = \frac{16 - 10}{12} \times 10^{-3} = 5 \times 10^{-4} \text{ mol/min.L}$$

من جدول تقدم التفاعل: لدينا:

$$\frac{dx}{dt} \times \frac{1}{V} = \frac{1}{2V_T} \times \frac{dn(Mn^{2+})}{dt} \quad \text{ومنه:} \quad \frac{dx}{dt} = \frac{1}{2} \times \frac{dn(Mn^{2+})}{dt}$$

$$(v_{vol})_{t=12min} = \frac{1}{2} v_{vol}(Mn^{2+})_{t=12min}$$

$$\Rightarrow (v_{vol} x)_{t=12min} = 2,5 \times 10^{-4} \text{ mol/L.min}$$

ب/ من جدول تقدم التفاعل:

$$n_f(Mn^{2+}) = 2x_f \Rightarrow x_f = \frac{n_f(Mn^{2+})}{2}$$

$$x_f = 10^{-2} \text{ mol} \quad \text{منه:} \quad n_f(Mn^{2+}) = 20 \text{ mmol}$$

ج/ زمن نصف التفاعل :

$$t_{1/2} =$$

$$n(t_{1/2}) = 2x(t_{1/2}) = 2\left(\frac{x_f}{2}\right) = x_f \Rightarrow n(t_{1/2}) = 10^{-2} \text{ mol}$$

بالإسقاط والتمديد على محور الأزمنة نجد:

$$t_{1/2} = 5,6 \text{ min}$$

أ/ تعين المتفاعل المحدد:

$$n_f(MnO_4^-) = C_1 \cdot V_1 - 2x_f = 0,05 - 0,02 = 0,03 \text{ mol}$$

التفاعل تمام  $\neq 0$  و منه  $n_f(MnO_4^-)$  و منه المتفاعل المحدد هو شوارد الطرطرات.  $C_4H_4O_6^{2-}$ ب/ تعين  $C_2$ :

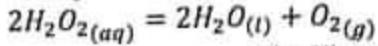
$$n_f(C_4H_4O_4^{2-}) = 0 \Rightarrow C_2 \cdot V_2 - x_f = 0$$

$$x_f = C_2 \cdot V_2 \Rightarrow C_2 = \frac{x_f}{V_2} = \frac{0,01}{0,5} = 0,02 \text{ mol/L}$$

 العالم حقاً من استشكل  
 الواضحة ووضع المشكل  
 البورفيسور عبد الحميد بن شيكو

التمرين 48:

I. الماء الأكسجيني التجاري عبارة عن محلول مائي لبيروكسيد البيروجين ( $H_2O_2$ ), يستعمل كمطهر للجروح له تركيز ثانويين ( $O_2/Red$ ) هنا  $(H_2O_2)_{(aq)}$  و  $(O_2)_{(g)}$ . ينفك بيروكسيد البيروجين ذاتياً ويتمدد هذا التحول بتفاعل كيميائي نعبر عنه بالمعادلة التالية:



(1) إكتب المعادلتين النصفيتين للأكسدة والإرجاع.

(2) أكمل جدول تقم التفاعل.

المعادلة		$2H_2O_2_{(aq)} = 2H_2O_{(l)} + O_2_{(g)}$		
حالات المادة	التقدم	كميات المادة بـ mol		
ح. الابتدائية	0	$n_0(H_2O_2)$	بوفرة	
ح. الانقلالية	$x$		بوفرة	
ح. النهائية	$x_{max}$		بوفرة	

(3) أعط تعريفاً للوسيط وما نوع الوساطة عندما نستخدم شوارد الحديد الثلاثي  $Fe^{3+}$  وذلك بإضافة محلول كلور الحديد الثلاثي للماء الأكسجيني.

II. لنراها تطور هذا التفاعل عند درجة حرارة ثابتة تصفيف عند اللحظة  $t = 0$  كمية قليلة من أكسيد المغنيز  $MnO_2$  وتتابع تطوراً كمية المادة للماء الأكسجيني المتبقى عند لحظات مختلفة تتحصل على المنحنى البياني الممثل في الشكل.

(1) عبر عن تقم التفاعل  $x$  بدالة:  $(H_2O_2)n$  كمية مادة

$$(H_2O_2)_t \text{ في اللحظة } t \text{ و } n_0(H_2O_2)$$

(2) بين أنه يمكن التعبير عن السرعة الحجمية للتفاعل بالعلاقة:

$$v_{vol} = -\frac{1}{2} \times \frac{d[H_2O_2]}{dt}$$

(3) احسب السرعة الحجمية في اللحظتين:

$$t = 0 \text{ و } t = 25 \text{ s} = ? \text{ كم يتطور؟}$$

(4) ما العامل الحركي الذي لعب دوراً في هذا التطور؟

(5) أعط تعريفاً لزمن نصف التفاعل  $t_{1/2}$ .

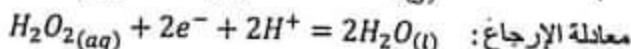
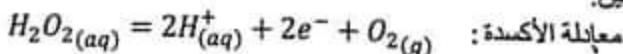
(6) بين أنه عند اللحظة  $t = t_{1/2}$  يكون:

$$[H_2O_2]_{t_{1/2}} = \frac{[H_2O_2]_0}{2}$$

واستنتج قيمة  $t_{1/2}$  بيانياً.

تصحيح التمرين 48:

I. (1) المعادلتين النصفيتين:



(2) إكمال جدول تقم التفاعل:

المعادلة		$2H_2O_2_{(aq)} = 2H_2O_{(l)} + O_2_{(g)}$		
حالات المادة	التقدم	كميات المادة بـ mol		
ح. الابتدائية	0	$n_0(H_2O_2)$	بوفرة	0
ح. الانقلالية	$x$	$n_0 - 2x$	بوفرة	$x$
ح. النهائية	$x_{max}$	$n_0 - 2x_{max}$	بوفرة	$x_{max}$

(3) تعريف الوسيط: هو نوع كيميائي مسرع للتفاعل دون أن يظهر في المعادلة الكيميائية.

نوع الوساطة: متجانسة (لأننا نستعمل المحاليل).

## الوحدة 01: المتابعة الزمنية لتحول كيميائي

.II (1) التعبير عن  $x$  بدلالة  $(H_2O_2)$  من جدول التقدم والتفاعل نجد:

$$x = \frac{1}{2}(n_0 - n(H_2O_2)) \quad \text{ومنه:}$$

قالك واحد ما رقش  
بكري و كي رقد  
صاب الحلم بدا

$$(2) \text{ عبارة السرعة الحجمية:}$$

$$v_{vol} = \frac{1}{V} \times \frac{dx}{dt} = \frac{1}{2V} \times \frac{d(n_0 - n(H_2O_2))}{dt}$$

$$v_{vol} = -\frac{1}{2V} \times \frac{d[H_2O_2] \times 2}{dt} = -\frac{1}{2} \times \frac{d[H_2O_2]}{dt}$$

$$(3) \text{ حساب السرعة الحجمية:}$$

$$v_{vol} = -\frac{1}{2} \times \frac{d[H_2O_2]_0}{dt}$$

$$v_{vol}(t = 0 \text{ s}) = -\frac{1}{2} \times \frac{7,5}{-1,5} = 2,5 \text{ mol/l.s}$$

$$v_{vol}(t = 25 \text{ s}) = 0 \text{ mol/l.s} \quad (\text{لانتهاء التفاعل})$$

تطور السرعة: تتناقص السرعة الحجمية للتفاعل إلى أن تتعدم بانعدام ميل المماس

(4) العامل الحركي الذي لعب دوراً في هذا التطور هو الوسيط  $Fe^{3+}$

(5) تعريف  $t_{1/2}$ : هو الزمن اللازم لبلوغ التفاعل نصف تقدمه النهائي  $x_f$

(6) بين أنه عند  $t = t_{1/2}$ :

$$\text{يكون } [H_2O_2]_{t_{1/2}} = \frac{[H_2O_2]_0}{2}, \text{ بما أن التفاعل تمام فلن } x_f = x_{max} \text{ وبالتالي عند } t_{1/2} \text{ يكون:}$$

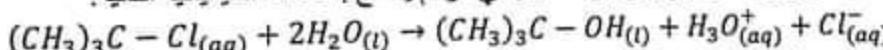
$$x(t_{1/2}) = \frac{x_{max}}{2} \Rightarrow n_{t_{1/2}}(H_2O_2) = \frac{n_0(H_2O_2)}{2}$$

$$\therefore [H_2O_2]_{t_{1/2}} = \frac{[H_2O_2]_0 \times 2}{2} \Rightarrow [H_2O_2]_{t_{1/2}} = \frac{[H_2O_2]_0}{2} = \frac{7,5}{2} = 3,75 \text{ mol/L}$$

قيمة  $t_{1/2}$  بيانياً:  $t_{1/2} = 3,75 \text{ mol/L}$  بالإضافة إلى البيان نجد أن:  $t_{1/2} \approx 1,2 \text{ s}$

## التمرين 49:

إن تفاعل إيماءة 2-كلور و 2-متيل بروبيان هو تفاعل بطيء وتم يندرج بالمعادلة الكيميائية التالية:



يبين دراسة تطور هذا التفاعل عن طريق قياس الناقلة النوعية  $\sigma$  للمحلول، عند اللحظة ( $t = 0$ ) نزج كمية قدرها  $1,85 \text{ mmol}$  من 2-كلور و 2-متيل بروبيان مع كمية وفيرة من الماء عند الدرجة  $25^\circ C$ ، فسنا الناقلة النوعية للمحلول في فترات زمنية مختلفة فحصلنا على البيان التالي (نهى التفكك الذاتي للماء)

(1) أشرح لماذا يمكن متابعة هذا التحول عن طريق قياس الناقلة النوعية؟

(2) أنجز جدول تقدم التفاعل واحسب التقدم الأعظمي.

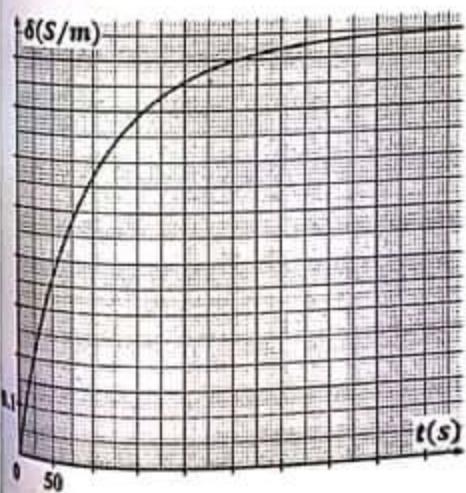
(3) أوجد عبارة تقدم التفاعل ( $x(t)$ ) بدلالة الناقلة النوعية  $\sigma$  والناقلة النوعية الأعظمية  $x_{max}$ .

والتقدم الأعظمي  $x_{max}$ .

(4) اعط عبارة سرعة تشكيل  $H_3O_{(aq)}^+$  ثم احسبها في اللحظة  $t = 100 \text{ s}$

(5) عرف زمن نصف التفاعل  $t_{1/2}$  ثم اوجه.

(6) ارسم كفيياً وفي نفس البيان ( $\sigma = f(t)$ ) عند  $T = 50^\circ C$



تصحيح التمرين 49:

- (1) يمكن متابعة هذا التحول عن طريق قياس الناقلة لأنه يوجد شوارد تؤثر في التفاعل:  $H_3O^+$  و  $Cl^-$ .
- (2) جدول تقدم التفاعل:

المعادلة	$(CH_3)_3C - Cl_{(aq)} + 2H_2O_{(aq)} \rightarrow (CH_3)_3C - OH_{(aq)} + H_3O_{(aq)}^+ + Cl_{(aq)}^-$						
الحالة	التقدم	كميات المادة (mol)					
ابتدائية	$x = 0$	$1,85 \times 10^{-3}$	بوفرة	0	0	0	
انتقالية	$x$	$1,85 \times 10^{-3} - x$	بوفرة	$x$	$x$	$x$	
نهائية	$x_f$	$1,85 \times 10^{-3} - x_f$	بوفرة	$x_f$	$x_f$	$x_f$	

حسب التفاعل الأعظمي: - عند نهاية التفاعل:

$$1,85 \times 10^{-3} - x_{max} = 0 \Rightarrow x_{max} = 1,85 \times 10^{-3} mol$$

(3) إيجاد عبارة تقدم التفاعل  $x_t$  بدلالة  $\sigma$  لدينا عند لحظة  $t$ :

$$\sigma_t = [H_3O^+] \lambda_{H_3O^+} + [Cl^-] \lambda_{Cl^-}$$

من جدول التقدم لدينا:  $n_t(H_3O^+) = n_t(Cl^-)$  منه:

$$\sigma_t = [H_3O^+] \times (\lambda_{H_3O^+} + \lambda_{Cl^-}) = \frac{x_t}{V_T} (\lambda_{H_3O^+} + \lambda_{Cl^-})$$

$$\Rightarrow x_t = \frac{\sigma_t \cdot V_T}{\lambda_{H_3O^+} + \lambda_{Cl^-}}$$

بنفس الطريقة نجد:

$$x_{max} = \frac{\sigma_{max} \cdot V_T}{\lambda_{H_3O^+} + \lambda_{Cl^-}} \Rightarrow \frac{x_t}{x_{max}} = \frac{\sigma_t}{\sigma_{max}} \Rightarrow x_t = \frac{\sigma_t \cdot x_{max}}{\sigma_{max}}$$

(4) عبارة سرعة تشكيل  $(H_3O^+)$ :

$$v(H_3O^+) = \frac{dn(H_3O^+)}{dt} = \frac{dx}{dt} = \frac{d}{dt} \left( \frac{\sigma_t \cdot x_{max}}{\sigma_{max}} \right) = \frac{x_{max}}{\sigma_{max}} \cdot \frac{d\sigma_t}{dt}$$

هو ميل مماس البيان عند لحظة  $t$ .

$$\sigma_{max} = 0,85 s/m$$

$$\left( \frac{d\sigma}{dt} \right)_{t=100s} = \frac{0,27 - 0,57}{0 - 100} = 3 \times 10^{-3} S/m.s$$

$$v(t=100s) = \frac{1,85 \times 10^{-3}}{0,85} \times 3 \times 10^{-3} = 6,5 \times 10^{-6} mol/s$$

(5) زمن نصف التفاعل  $t_{1/2}$ : هو زمن اللازم لبلوغ التفاعل نصف

نقطة النهاي  $x_f$ .

$$\text{بيانيا: } t_{1/2} = \frac{\sigma_0 + \sigma_{max}}{2} = 0,42 s/m$$

بسقط قيمة  $\sigma_{t_{1/2}}$  على محور الفواصل نجد:

$$t_{1/2} = 60s$$

(6) الرسم البياني لتطور تغيرات الناقلة النوعية  $\sigma$  للمحلول

$$T = 50^\circ C$$

(a) بيان تغيرات  $\sigma$  عند  $T = 25^\circ C$

(b) بيان تغيرات  $\sigma$  عند  $T = 50^\circ C$

ملاحظة: تغيرات قيمة  $\sigma_{max}$  لأنها تتعلق بدرجة الحرارة.

